

УДК 630*160:574.2

Биологически активные соединения древесины хвойных растений*Ведерников К.Е., Бухарина И.Л., Загребин Е.А.**Удмуртский государственный университет***Аннотация**

В данной статье приводятся результаты исследования особенностей биохимического состава древесины хвойных растений в условиях городской среды и рассмотрения возможности участия экстрактивных веществ в формировании адаптивных реакций. В качестве объектов исследования выступают *Picea pungens* Engelm как вид-интродуцент и *Picea obovata* L. как аборигенный вид. Для изучения адаптивных реакций биохимического состава древесины выбранные виды изучались в зависимости от испытываемой антропогенной нагрузки разной интенсивности. Полученные данные были статистически обработаны. В результате выявлено отсутствие статистически достоверных отличий в содержании экстрактивных веществ древесины *P. obovata* в городских насаждениях по сравнению с контрольной зоной. Для *P. pungens* отмечено достоверно более высокое содержание экстрактивных веществ в условиях возрастающей антропогенной нагрузки. Видоспецифичность по содержанию экстрактивных веществ в древесине не выявлена, однако у *P. pungens* наблюдается более значительная вариабельность данного показателя. При изучении компонентного состава экстрактивных веществ методом тонкослойной хроматографии в древесине *P. pungens*, в отличие от аборигенного вида, не выявлен а-конидендрин, однако зафиксировано большее содержание смолopodobных соединений. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-04-00353 А.

Ключевые слова: *PICEA OBOVATA*, *PICEA PUNGENS*, ЭКСТРАКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА, ХВОЙНЫЕ РАСТЕНИЯ, ЕЛЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ

Хвойные виды растений являются доминирующими породами в Северном полушарии как в естественных экосистемах, так и в искусственных. Они обладают высокими декоративными свойствами, благодаря чему получили широкое распространение в озеленении городов и промышленных центров. Прочная и долговечная древесина голосеменных, особенно из рода *Pinus* и *Picea*, активно используется в промышленности и в народном хозяйстве.

Высокая востребованность хвойных в различных отраслях экономики привела к

активным работам по выращиванию высокопродуктивных лесных культур: ели, сосны, особенно в условиях умеренного климата. Активно проводились работы по акклиматизации древесных видов не только из ближайших к европейской части России флористических областей, но и с других континентов. Интродукция растений проводилась как для целей озеленения населенных пунктов, так и для промышленного выращивания [1].

Высокая ценность хвойных пород вызвала значительный интерес исследователей к проблеме устойчивости ели, особенно после массовых усыханий тёмнохвойных лесов Европейской части РФ в результате аномальной засухи 2010 г. [2-5].

При проведении исследований нами было отмечено, что в местах усыхания ельников встречаются особи, не имеющие повреждений как в естественных лесных системах, так и в насаждениях урбанозкосистем. Это наблюдение отмечается и другими авторами [6].

В связи с тем, что причиной гибели еловых насаждений является короед-типограф, повреждающий древесину растений, мы считаем, что гибель одних особей и устойчивость других связана с особенностями биохимического строения древесины.

Древесина ели состоит из полимерных структурных компонентов (целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина) и неструктурных компонентов (в том числе экстрактивных веществ, золы и других второстепенных компонентов). Важную защитную функцию в древесине хвойных пород выполняет смола, входящая в состав группы веществ, извлекаемых при помощи экстракции. Эти вещества с высокой биологической активностью обычно концентрируются в сердцевине дерева и производятся в качестве защитных соединений в процессе жизнедеятельности растений от внешних экологических стрессов. По химической природе эти вещества представлены терпенами и их производными, смоляными кислотами, липидами, жирными кислотами, фитостеринами, полифенолами и танинами [7, 8].

Целью наших исследований являлось изучение особенностей биохимического состава древесины хвойных растений и рассмотрение возможности участия экстрактивных веществ в формировании адаптивных реакций у хвойных растений.

Методика исследований

Исследования хвойных пород проводили в крупном промышленном центре

Уральского региона – г. Ижевск, Удмуртская Республика. В качестве объектов исследования выступили интродуцированный (*Picea pungens* Engelm.) и аборигенный (*Picea obovata* L.) виды ели. Особи исследуемых растений произрастали в насаждениях города различных экологических категорий, расположенных с учетом функционального зонирования города и испытывающих антропогенную нагрузку разной интенсивности: насаждения селитебной зоны (жилой микрорайон «Север») и произрастающие вдоль магистрали (ул. Удмуртская). В качестве зоны условного контроля (ЗУК) выбраны насаждения парка ландшафтного типа (ЦПКиО им. С.М. Кирова, площадью 113 га). В качестве контрольной зоны для *P. obovata* выбраны средневозрастные чистые еловые насаждения на территории ГКУ УР Яганское лесничество (тип леса – ельник кисличник), расположенные в 35 км от г. Ижевск в юго-западном направлении, а для *P. pungens* – питомник лесных культур АУ УР Удмуртлес, располагающийся на юго-западе г. Ижевск.

В каждом насаждении закладывали пробные площади (в городских условиях – 0,25 га, в естественных лесных экосистемах – 1 га), на которых проводили сплошную инвентаризацию особей хвойных растений. Для изучения особенностей древесины в каждом насаждении отбирали по три учетные особи каждого вида хорошего жизненного состояния и среднегенеративного онтогенетического состояния.

В местах отбора образцов растений провели отбор почвенных проб (смешанная проба, составленная из индивидуально взятых проб по способу конверта) [13-15]. Определили агрохимические и физические показатели почв: pH_{KCl} [16], pH_{H_2O} [17], органическое вещество (гумус, %) – по методу Тюрина И.В. в модификации Симакова, аммонийный азот – фотоколориметрическим, нитраты – ионометрическим методами, подвижные формы калия и фосфора – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО, плотность сложения и влажность почв – по общепринятым методикам.

Образцы древесины отбирали при помощи возрастного бура на высоте 0,3 м от корневой шейки дерева. Влажность древесины определяли методом высушивания образцов в сушильном шкафу [18], рассчитывали коэффициент сухости для дальнейшего пересчета содержания экстрактивных веществ в абсолютно сухой массе навески.

Содержание экстрактивных веществ определяли методом горячей отгонки спирто-толуольной смесью в аппарате Сокслета. Эта смесь извлекает все смолы, даже устойчивые, а также больше фенольных (в том числе некоторые танины и красители) и

Ведерников К.Е., Бухарина И.Л., Загребин Е.А.
 Биологически активные соединения древесины хвойных растений

 Электронный научно-производственный журнал
 «АгроЭкоИнфо»
 =====

окисленных соединений, чем другие растворители [18, 19].

Компонентный состав экстрактивных веществ определяли при помощи тонкослойной хроматографии в Лаборатории химии древесины Иркутского института химии им. А.Е.Фаворского СО РАН (г. Иркутск).

Математическую обработку результатов провели с применением статистического пакета «Statistica 5.5». Для интерпретации полученных материалов использовали метод описательной статистики.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований условий произрастания выявлено, что почвы в городской среде подвергаются значительной трансформации. На фоне антропогенного влияния происходит изменение морфоструктуры и агрохимии (табл. 1).

Таблица 1. Агрохимические и физические показатели почв в районах исследования

| Показатели | Районы исследования | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | ЦПКиО им. С.М. Кирова | Микрорайон «Север» | ул. Удмуртская | Лесной питомник | Ельник кисличный |
| pH _{KCl} | 5,83±0,16* 5,14...6,52** | 7,20±0,00 | 6,97±0,07 6,67...7,27 | 6,10±0,10 5,67...6,53 | 2,96 ± 0,03 2,83...3,09 |
| pH _{H2O} | 6,70±0,00 | 7,74±0,02 7,65...7,83 | 8,03±0,25 6,95...9,11 | - | - |
| NH ₄ ⁺ , мг/кг | 331,56±6,90 301,87...361,25 | 108,52±7,37 76,81...140,23 | 541,98±4,28 523,56...560,40 | 4,80±0,00 | 423,33 ± 10,47 378,28...468,38 |
| NO ₃ ⁻ , мг/кг | 16,84±0,39 15,16...18,52 | 0,23±0,03 0,10...0,36 | 5,13±0,85 1,47...8,79 | 6,30±0,06 6,04...6,56 | 0,95 ± 0,10 0,52...1,38 |
| P ₂ O ₅ , мг/кг | 290,75±10,40 245,98...335,51 | 133,09±0,00 | 321,95±6,86 292,43...351,47 | 450,00±20,28 362,74...537,26 | 3,81 ± 0,77 0,50...7,12 |
| K ₂ O, мг/кг | 371,39±1,25 366,02...376,75 | 197,05±3,40 182,43...211,66 | 423,19±9,26 383,34...463,04 | 174,00±26,00 62,12...285,88 | 40,54 ± 3,33 26,21...54,87 |
| Органическое вещество (гумус), % | 4,23±0,17 3,49...4,96 | 6,48±0,04 6,31...6,65 | 2,29±0,05 2,07...2,51 | 3,20±0,50 1,05...5,35 | 5,38±0,05 5,16...5,60 |
| Влажность, % | 17,08±0,61 14,46...19,68 | 8,01±1,03 3,58...12,44 | 15,92±1,44 9,72...22,12 | 16,10±1,20 10,94...21,26 | 29,50 ± 1,27 24,04...34,96 |
| Плотность, г/см ³ | 1,21±0,03 1,08...1,34 | 1,31±0,04 1,14...1,48 | 1,13±0,03 1,00...1,26 | 1,01±0,01 0,97...1,05 | 0,75 ± 0,07 0,45...1,05 |

Примечание: * – среднее значение показателя ± стандартная ошибка;

** – интервал для среднего значения, при уровне достоверности p=0,05;

- – данные анализы не проводились.

Почвы в парковой зоне – дерново-подзолистые супесчаные. Данные почвы относятся к естественным, преобразование почвенного профиля составляет не более 50 см, сохранились типовые морфологические признаки. Содержание органического вещества составляет 4,23%, реакция почвенного раствора близка к нейтральной ($\text{pH} = 5,83$). В целом почвы характеризуются средней уплотненностью. Полевая влажность почвы составляет 17,08%.

В селитебной зоне города (жилой микрорайон «Север») выявлены антропогенные почвы – стратоземы (насыпь поверх естественного профиля). Морфологическая структура почвы нарушена, почвенные горизонты перемешаны. Отличительная особенность почв данного района – высокое содержание органического вещества (6,48%) и нейтральная, близкая к щелочной кислотность ($\text{pH} 7,20$), что может быть связано с внесением растительного грунта при благоустройстве и озеленении исследуемой территории. Полевая влажность почвы составляет 8,01%.

В примагистральных посадках, как и в предыдущем районе, преобладает комплекс антропогенных почв с преобладанием стратоземов (насыпь поверх естественного профиля). Для почвы были характерны значения: $\text{pH} 6,97$, содержание органического вещества – 2,29%. Полевая влажность почвы составляет 15,92%.

Почвы питомника лесных культур относятся к естественным супесчаным дерново-подзолистым. Толщина пахотного слоя составляет 22 см. Содержание органического вещества в данных почвах составляет 3,2%, реакция почвенного раствора нейтральная ($\text{pH} = 6,10$). В целом почвы характеризуются средней уплотненностью. Полевая влажность почвы составляет 16,10%. В почвах питомника отмечено высокое содержание подвижного фосфора ($\text{P}_2\text{O}_5 = 450,00$ мг/кг или 45 мг/100 г почвы). По степени окультуренности почва питомника относится к средней степени. По основным агрохимическим показателям (толщина пахотного слоя, плотность, содержание органического вещества, pH_{KCL} , подвижный фосфор и обменный калий) почва питомника имеет оптимальные параметры для почв питомников в лесной зоне [20].

В еловом насаждении почва относится к естественным суглинистым дерново-подзолистым почвам. Содержание органического вещества в данных почвах составляет 5,38%. Реакция почвенного раствора кислая ($\text{pH} = 2,96$), характерная для почв, на которых произрастают хвойные насаждения. Полевая влажность почвы составляет 29,50%, что

достоверно выше, чем в почвах города, парковой зоне и в лесном питомнике. В лесной почве отмечено достоверно низкое содержание подвижного фосфора и калия ($P_2O_5 = 3,81$ мг/кг, $K_2O = 40,54$ мг/кг почвы), в сравнении с другими анализируемыми районами (табл. 1).

В результате исследований влажности древесины выявлено, что у особей *P. obovata*, произрастающих в естественных условиях, влажность образцов достоверно выше, чем в городских условиях и в парковой зоне. У особей *P. pungens* в магистральных посадках влажность древесины достоверно ниже в сравнении с контрольной зоной (табл. 2).

Таблица 2. Особенности биохимического состава древесины хвойных в городских условиях

| Районы исследования | <i>Picea obovata</i> L. | | <i>Picea pungens</i> Engelm. | |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| | Влажность древесины, % от а.с.с. | Содержание экстрактивных веществ в древесине, % от а.с.с. | Влажность древесины, % от а.с.с. | Содержание экстрактивных веществ в древесине, % от а.с.с. |
| Контроль* | 15,2±0,07** 14,92...15,48*** | 2,67±0,18 1,90...3,44 | 8,52±0,20 7,67...9,38 | 2,48±0,18 1,71...3,25 |
| ЦПКиО им. С.М. Кирова | 6,87±0,20 6,02...7,72 | 4,42±0,70 1,41...7,43 | 7,17±0,20 6,31...8,03 | 2,59±0,01 2,55...2,63 |
| Микрорайон «Север» | 6,87±0,27 5,53...8,01 | 4,69±1,01 0,34...9,04 | 7,57±0,23 6,61...8,53 | 15,42±1,11 10,64...20,20 |
| ул. Удмуртская | 7,20±0,59 4,72...9,68 | 3,62±0,41 1,86...5,38 | 6,20±0,03 6,06...6,34 | 4,46±0,23 3,47...5,45 |

Примечание: * – контрольная зона для *Picea obovata* – ельник кисличник, для *Picea pungens* – лесной питомник;

** – среднее значение показателя ± стандартная ошибка;

*** – интервал для среднего значения при уровне достоверности $p=0,05$.

Анализ данных по содержанию экстрактивных веществ в древесине исследуемых растений показал, что у особей *P. obovata* в естественных условиях произрастания уровень содержания экстрактивных веществ, хотя и меньше, чем в городских условиях, но при этом не имеет с ними статистически значимых различий.

Исследования по содержанию экстрактивных веществ не выявили достоверных отличий у особей *P. pungens*, произрастающих в контрольной зоне и в зоне условного

контроля. Однако выявлены достоверные отличия в содержании экстрактивных веществ у особей, произрастающих в селитебной зоне (15,42%) и в магистральных насаждениях (4,46%) в сравнении с особями, произрастающими в лесном питомнике (2,48%), и особями парковой зоны (2,59%).

Высокое содержание экстрактивных веществ у особей *P. pungens* в жилом мкр. «Север», на наш взгляд, связано с реакцией растений на почвенные условия произрастания. В почвах селитебной зоны нами выявлено низкое содержание основных элементов питания. Кислотность почвенного раствора имеет самые высокие показатели в сравнении с почвами других районов, что, в свою очередь, снижает доступность почвенных элементов. В научных публикациях отмечен факт повышения содержания водорастворимых экстрактивных веществ (фенольные соединения) у растений, произрастающих на урбанизированных территориях в условиях невысокого содержания основных элементов минерального питания и близких к полученным нами показателям pH почвенного раствора [21].

В результате проведенных исследований не выявлена видоспецифичность как по влажности древесины, так и по содержанию экстрактивных веществ в древесине. У особей *P. pungens* наблюдается более значительная вариабельность в содержании экстрактивных веществ по сравнению с *P. Obovate*: от 4,2 до 84 %. На наш взгляд, это связано с влиянием условий произрастания и состоянием особи, что подтверждается исследованиями ряда ученых [22, 23].

Компонентный состав экстрактивных веществ определяли хроматографическим методом. Для исследования были выбраны образцы древесины с наибольшим уровнем содержания экстрактивных веществ в древесине (рис. 1).

В результате анализа у ели сибирской выявлены такие вещества, как оксиматаирезинол и α -коницендрин. У ели колючей выявлено содержание оксиматаирезинола, тогда как другие вещества не проявились. Это может свидетельствовать о высоком содержании воскоподобных соединений в составе экстрактивных веществ ели колючей, которые выполняют, в первую очередь, защитную и регулирующие функции. Возможно, этими особенностями вызвана хорошая приживаемость интродуцента и его устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды, в том числе к атмосферному загрязнению.

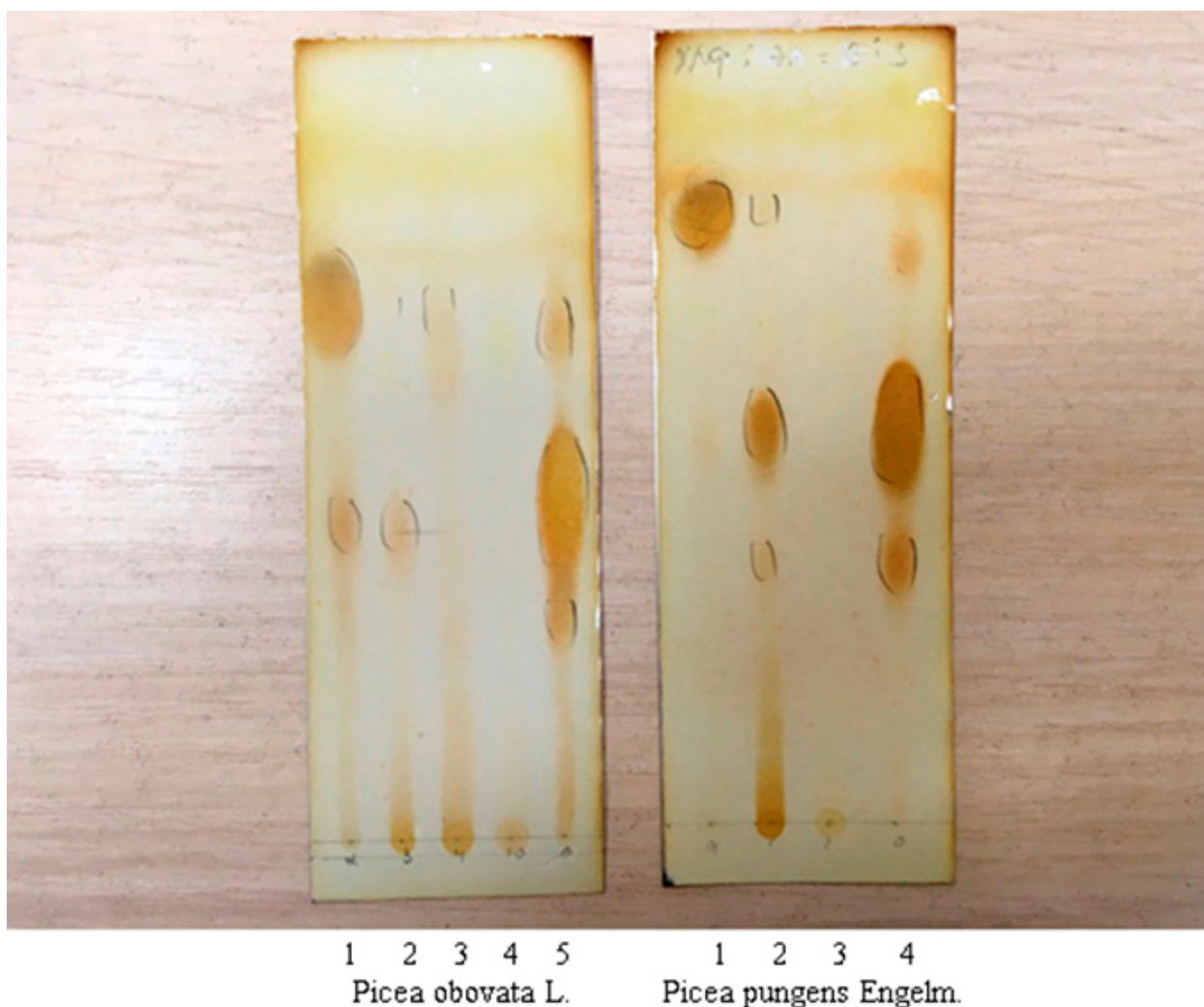


Рис. 1. Результаты анализа тонкослойной хроматографии по определению состава экстрактивных веществ

Picea obovata L.:

- 1 – вещество-метчик α -конидендрин;
- 2, 3, 4 – экстрактивные вещества, извлеченные из древесины особей, произрастающих в мкр. «Север»;
- 5 – вещество-метчик оксиматаирезинол.

Picea pungens Engelm.:

- 1 – вещество-метчик α -конидендрин;
- 2, 3 – экстрактивные вещества, извлеченные из древесины особей, произрастающих в мкр. «Север»;
- 4 – вещество-метчик оксиматаирезинол)

Заключение

Проведенные исследования выявили значительное варьирование показателя содержания экстрактивных веществ у вида-интродукта *Picea pungens* по сравнению с

Picea obovata в различных условиях произрастания. Также отмечено значительное влияние условий произрастания (в том числе эдафических), а также антропогенного воздействия, на содержание экстрактивных веществ в древесине изучаемых видов хвойных растений. По уровню содержания экстрактивных веществ не было выявлено видоспецифичности изучаемых особей. Однако были отмечены отличия в компонентном составе экстрактивных веществ. У особей ели колючей, при высоком общем содержании экстрактивных веществ, не было выявлено вещество, составляющее основу смолы хвойных – α -конидендрин. Также отмечено, что у интродуцированного вида влажность древесины падает только при высокой антропогенной нагрузке (в магистральных посадках). Это может свидетельствовать о высокой концентрации в составе древесины воскоподобных веществ, выполняющих водорегулирующие и защитные функции.

Список использованных источников

1. Писаренко А.И., Редько Г.И., Мерзленко М.Д. Искусственные леса. В 2-х частях. Ч.1. – М.: ВНИИЦ-Лесресурс. – 1992. – 307 с.
2. Коротков С.А., Стоноженко Л.В., Ерасова Е.В., Иванов С.К. Устойчивость и динамика еловых и липовых насаждений северо-восточного Подмосковья // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014, № 4. – С. 13–22.
3. Маслов А.Д. Короед-типограф и усыхание еловых лесов. – М.: ВНИИЛМ. – 2010. – 138 с.
4. Малахова Е.Г., Крылов А.М. Усыхание ельников в Клинском лесничестве Московской области // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012, вып. № 1–8, т. 14. 5. – С. 1975-1978.
5. Алябьев А.Ф. Усыхание ельников Подмосковья // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013, № 6 (98). – С. 159–166.
6. Мартыненко О.В., Карминов В.Н., Онтиков П.В., Щепаченко Д.Г., Бараненкова А.А. Почвенные факторы устойчивости ельников // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2016, т. 20, № 5. – С. 147-153.
7. A.M. Taylor, B.L. Gartner, J.J. Morrell Heartwood Formation and natural durability – a review Wood and Fiber Science, 34 (4) (2002). – PP. 587-611.
8. Бабкин В.А. Экстрактивные вещества древесины лиственницы: химический состав, биологическая активность, перспективы практического использования // Инноватика и экспертиза. Выпуск 2 (20). – 2017. – С. 210-223.
9. Мамаев С.А. Виды хвойных на Урале и их использование в озеленении. – Свердловск: УНЦ АН СССР. – 1983. – 110 с.

10. Антипов В.Г. Устойчивость древесных растений к промышленным газам. – Минск: Наука и техника. – 1979. – 214 с.
 11. Булыгин Н.Е., Ярмишко В. Т. Дендрология. – М.: МГУЛ. – 2001. – 528 с.
 12. Bukharina I.L., Vedernikov K.E., Pashkova A.S. Morphophysiological Traits of Spruce Trees in Conditions of Izhevsk // Contemporary Problems of Ecology. – 2016, v. 9, № 7. – P. 853-862.
 13. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – 1983.
 14. Методические рекомендации по оценке загрязненности городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами / Сост. В.А. Большаков [и др.]. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. – 1999. – 31 с.
 15. Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации / Коллектив авторов. – М.: Науч.-исслед. и проектно-изыскательский инст. экологии города. – 1996. – 36 с.
 16. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. – 1985.
 17. ГОСТ 17.5.4.01-84. Охрана природы. Рекультивация земель. Метод определения рН водной вытяжки вскрышных и вмещающих пород. – М.: Изд-во стандартов. – 1984.
 18. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: Учебное пособие для вузов. – М.: Экология. – 1991. – 320 с.
 19. Бабкин В.А. Экстрактивные вещества древесины лиственницы: химический состав, биологическая активность, перспективы практического использования // Инноватика и экспертиза. – 2017, выпуск 2(20). – С. 210-223.
 20. Окультирование и повышение плодородия почв лесных питомников Европейской части России (Федеральная служба лесного хоз-ва России. – М. – 1994. – <http://docs.cntd.ru/document/9013020>. Дата обращения 29.05.2017 г.
 21. Бухарина И.Л., Кузьмина А.М., Кузьмин П.А. Особенности содержания танинов в листьях древесных растений в техногенной среде // Химия растительного сырья. – 2015, №4. – С. 71-76.
 22. Севастьянова Ю.В., Фетюкова Н.Н., Татарский К.О. Сравнение химического состава экстрактивных веществ сухостойной и здоровой древесины ели приарктических экосистем // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2015, №8 (21). – С. 14-16.
 23. Чернышева О.А., Анашенков С.Ю., Рошин В.И. Состав экстрактивных веществ из проэкстрагированной древесной зелени ели европейской // Актуальные проблемы лесного комплекса. – Брянск. – 2009, № 22. – С. 148-149.
-

Ведерников К.Е., Бухарина И.Л., Загребин Е.А.

Биологически активные соединения древесины хвойных растений

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

Цитирование:

Ведерников К.Е., Бухарина И.Л., Загребин Е.А. Биологически активные соединения
древесины хвойных растений // АгроЭкоИнфо. – 2019, №3. –
http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/3/st_334.doc.